

## 炭素繊維シートで被覆した高強度 RC 杭の荷重－変位関係

東北大学大学院 学生会員 ○荒川 岳  
 東北大学大学院 フェロー 鈴木基行  
 (株)大林組 正会員 武田篤史

東北大学大学院 正会員 秋山充良  
 東日本高速道路(株) 正会員 青木 直  
 前田製管販売(株) 佐藤 啓  
 高周波熱錬(株) 飯干福馬

## 1. はじめに

液状化の影響により地盤の水平反力が十分に期待できない場合などには、経済性への配慮から、基礎の降伏を許容せざるを得ない例が存在する。本来、地盤条件などに関わらず、基礎構造は弾性限界までの応答しか許容せず、修復が容易な橋脚基部に主たる塑性化を生じさせる耐震設計が望まれる。この背景のもと、杭基礎の地震時保有水平耐力の向上を目的に高強度構成材料を使用し、断面中心部へプレストレスを導入した RC 杭体（高強度 RC 杭体）を開発した。本研究では単調曲げ載荷実験に続き、高強度 RC 杭体の正負交番載荷実験を実施し、導入プレストレスの大きさや炭素繊維シートの貼付の有無などが杭体の水平荷重－水平変位関係に及ぼす影響について基礎データを得た。また、杭体の部材軸方向の曲率分布と断面解析により得られる曲げモーメント－曲率関係から、実験で得られた水平荷重－水平変位関係の再現を試みた。

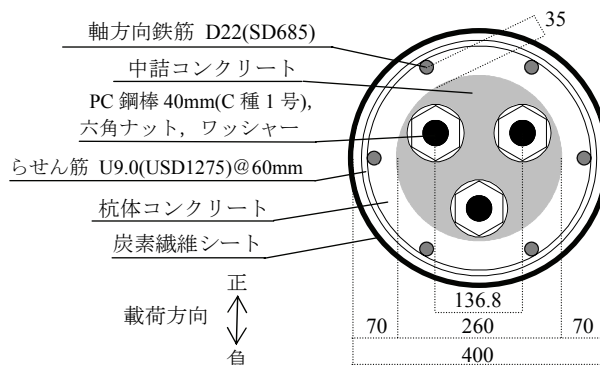
## 2. 実験概要および実験結果

供試体諸元の一覧を表－1に、供試体断面の一例を図－1にそれぞれ示す。実験で用いた杭体の直径  $D$  は全て 400mm である。杭長 1800mm の杭体を遠心力形成によって製作し、脱型後、中詰めコンクリートを打設している。開発した高強度 RC 杭体では、3本の PC 鋼棒に与えた緊張（引張）力が供試体両端に設けた厚さ 60mm の鋼製アンカープレートを通して、軸圧縮力として杭体に作用する。また、かぶりコンクリートの早期の剥落を防止するため、繊維方向を円周方向とした炭素繊維シート（以下 CFS）を貼付した。せん断補強筋は、せん断破壊を防ぐため高強度鉄筋を密に配置した。実験因子は、導入プレストレス  $f_{pe}$  (22N/mm<sup>2</sup> 程度)の有無、および CFS 被覆の有無である。また、杭体には橋脚・上部工重量を想定した軸力が鉛直ジャッキにより与えられる。

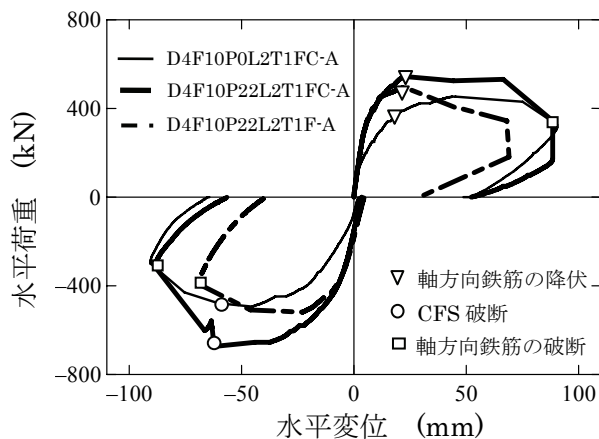
供試体の下端部にはアンカー鉄筋 (D25, SD490) 16本を溶接し、埋め込み長さを 400mm 確保した状態でフーチングを打設した。なお、せん断スパンは 1080mm である。荷重方法は、まず荷重制御にて正方向に荷重し、引張鉄筋に貼付したゲージにより降伏を確認した。この時の荷重点位置の水平変位を降伏変位  $\delta_y$  とし、その後は  $\delta_y$  の整数倍を荷重ステップとして、荷重ステップ毎に 3 サイクルの交番荷重を行った。実験結果を図－2に示す。プレストレス導入による最大水平荷重の増加および CFS 貼付による靱性能の向上が確認できる。

表－1 供試体諸元一覧

| 供試体名             | $\sigma'_c$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $f_{pe}$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 軸力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | CFS |
|------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----|
| D4F10P0L2T1FC-A  | 98.2                                | 0.0                              | 6.9                        | 有   |
| D4F10P22L2T1FC-A | 99.6                                | 22.5                             |                            | 有   |
| D4F10P22L2T1F-A  |                                     | 21.8                             |                            | 無   |



図－1 供試体断面の一例



図－2 水平荷重－水平変位関係

Key Words : RC 杭, 高強度材料, プレストレス, 炭素繊維シート

連絡先 : 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL : 022(795)7449 FAX : 022(795)7448

### 3. 解析的検討

現行の鉄筋コンクリート柱の耐震設計基準で採用されている耐震解析法を参考に、高強度 RC 杭体の正負交番載荷実験で得られた水平荷重－水平変位関係の骨格曲線の再現を試みた。単調曲げ載荷実験で観察された損傷状態と実験結果から、高強度 RC 杭体の限界状態として、圧縮縁コンクリートがその圧縮強度点に達した点（限界状態 1）、引張側の軸方向鉄筋が降伏する点（限界状態 2）、CFS が破断する点（限界状態 3）、をそれぞれ定義した。限界状態 1 と 2 の曲率 $\phi_c$ と $\phi_y$ は、かぶりコンクリートの最圧縮縁が最大応力に達した点と最外縁引張鉄筋が降伏に達した点であり、限界状態 3 の $\phi_u$ は、かぶりコンクリートの圧縮縁について細谷らの式 2) に補正係数 $\alpha$ を乗じて得られたひずみに達した点としてそれぞれ断面解析を行い定めている。断面解析では、図-1 に示す、かぶり、杭体、および中詰コンクリートについて、CFS とらせん筋による横拘束力、およびその圧縮強度を考慮したコンクリートの応力－ひずみ関係を用いている。なお、鉄筋はバイリニアモデルである。また、断面解析を行う際は、実験中に生じる PC 鋼棒の引張ひずみの増分を考慮せず、載荷前に PC 鋼棒に与えた緊張力の総和と同じ圧縮力を外的に与え、仮定した曲率から計算される断面上の軸力がこの圧縮力と釣り合うようにした。それぞれの限界状態 1～3 に達したときの柱軸方向の曲率分布から各点の水平変位を求めた。

### 4. 実験結果との比較

解析結果と実験結果の比較を図-3、図-4 に示す。実験結果としては、正方向の載荷で得られる骨格曲線を用い、CFS の破断などが負側載荷で生じた場合には、そのときの水平変位の絶対値を各図に示している。水平荷重は、図-3 に示すプレストレスを導入した供試体では、概ね実験結果を再現できている。これは、載荷中の PC 鋼棒ひずみの増分が小さいためである。一方、図-4 に示されるように、プレストレスを与えない供試体では、載荷中の PC 鋼棒ひずみの増分が大きいため、実験時の水平荷重を過小評価した。図-4 には、実験時に得られた PC 鋼棒ひずみの値から計算される圧縮力の増分を断面解析に反映した結果も示しているが、この場合には、概ね実験結果と整合した計算値が得られている。また、水平変位に関しては、図-3 の限界状態 3 の変位が過小評価されている。これは、補正係数 $\alpha$ を同定する際に、今回実験した全ての杭体について安全側の評価となるように配慮した結果であり、今後、限界状態 3 の評価法はさらに検討する必要がある。

### 5. まとめ

高強度 RC 杭体の正負交番載荷実験を実施し、プレストレス導入、炭素繊維シートの貼付の有無が水平荷重－水平変位関係に及ぼす影響について基礎データを得た。また、実験により得られた水平荷重－水平変位関係の骨格曲線の再現を試みた。水平荷重の評価は妥当なものの、部材の終局点とした炭素繊維シートの破断点に相当する水平変位の算定法は、今後の見直しが必要である。

### 参考文献

- 1) 浅沼大寿，秋山充良，佐藤啓，鈴木基行：高強度 RC 杭体へのプレストレス導入による曲げ耐力の改善，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.3，pp.1003-1008，2008.
- 2) 細谷学，川島一彦：炭素繊維シートで横拘束したコンクリート柱の応力度－ひずみ関係に及ぼす既存鉄筋の影響とその定式化，土木学会論文集，No.620/V-43，pp.25-42，1999.5

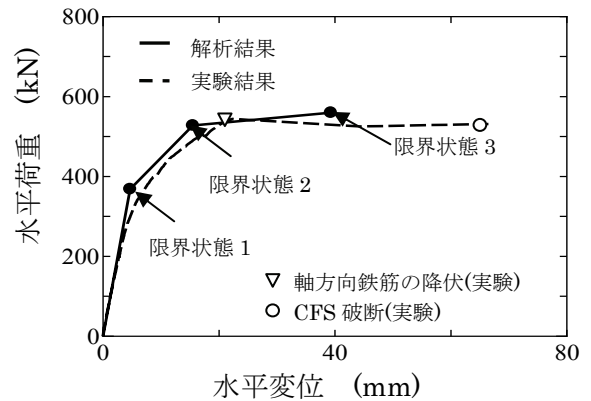


図-3 実験結果と解析結果の比較 (D4F10P22L2T1FC-A)

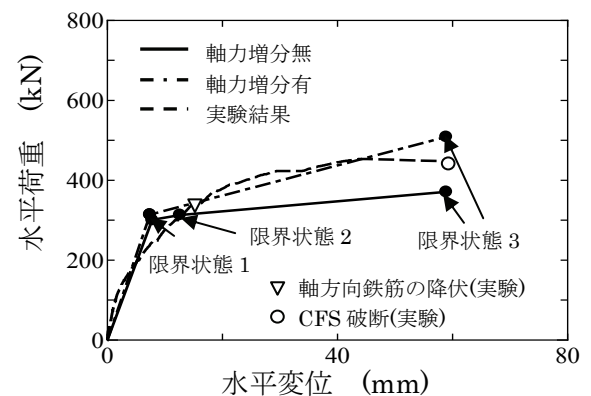


図-4 実験結果と解析結果の比較 (D4F10P0L2T1FC-A)